

＝ プラズマアーク溶接の基礎と考え方 ＝

前話では、かつて勤務した東亜精機(株)がスイスセシロン社と技術提携しマイクロプラズマ溶接機を導入した頃の思い出の一端を振り返りました。当時の TIG 溶接機と比べると、導入した **Plasmafix** のアークは、小電流域における安定性・集中性・自在なアーク性状のコントロール性など多くの点で素晴らしさを見出すことができました。また、純 Ar, 純 He に加え Ar-He, Ar-H₂ などの混合ガスのアーク性状におよぼす影響、効果について早くから実体験できたことは、筆者の溶接人生において大変プラスであったと感ずるところです。

本話ではマイクロプラズマをはじめプラズマアーク溶接に関するいくつかの基礎的な考え方について、ナストーア溶接ハンドブック IV編プラズマ溶接(平成11年3月発行)およびその他資料を参照しながら説明を致します。

1-1. 各種溶接法のパワー密度

プラズマのパワー密度を各種溶接法のパワー密度と比較したものを **図216-01** に示しますが、以下の4領域に大別されます。

(a) 高パワー密度

パワー密度が 10^{13} W/m² 程度以上では、物質中での蒸発作用が激しく、ビーム(アーク)径方向への熱伝導より速い。このような高パワー密度ではワークに焦点径と同じ大きさの穴が形成され、穴の壁にはほとんど熱が蓄積されない。

(b) 中パワー密度

パワー密度が 10^{10} W/m² と 10^{13} W/m² の間では、伝導と蒸発の割合は入熱量(パワー)と投入面積(スポット径)のかねあいに依存する。この領域では蒸発作用は金属にキーホールを形成し、伝導熱はキーホール壁を溶融して、溶接を可能にする。

(c), (d) 低パワー密度

パワー密度が 10^{10} W/m² 以下の領域では径方向への熱伝導が主となる。多くのアーク溶接法のパワー密度は 3×10^6 から 10^{10} W/m² の間にある。

図 216-01 にみるようにプラズマのパワー密度は従来のアーク溶接に比べて10～100倍になっている。

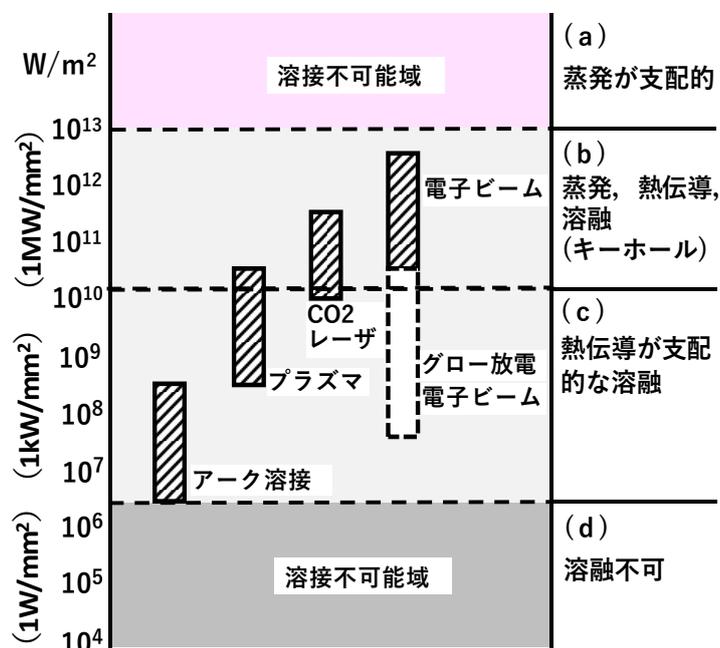


図216-01 各種溶接法のパワー密度*1)

1-2. プラズマアークの発生原理

プラズマアーク発生 の原理については既 前に前話図 215-01 に概要を示しましたとおり、タングステン電極 1 と水冷メタルノズル 3 間に高周波発生装置の助けを借りて、パイロットアーク 7 を発生させ、次にパイロットアークが母材に触れることで、主プラズマアーク（メインアーク 8）の発生を導きます。メインアークは水冷メタルノズルおよびガス（センターガス、シールドガス）の熱的ピンチ力によって細く絞られ、通常 TIG アークの 1/4~1/5 程度に絞られて、電流密度が著しく高められます。

プラズマアークのアーク特性は TIG アーク特性に比べて、中・大電流域ではアーク電圧が高くなり、低電流域では低くなる。中・大電流域で高くなるのはアーク長が長く、アーク柱が細くなっていることから容易に理解できるところであるが、低電流域で低くなる理由は図 216-02 のように TIG アークでは低電流域で負性抵抗特性（電流が増加すると電圧が低下することを指す）を示すが、プラズマアークの場合はパイロットアークの作用で、アーク電圧は高くなり、プラズマアークが 0.1A とした極小電流になってもアークは安定に維持される。

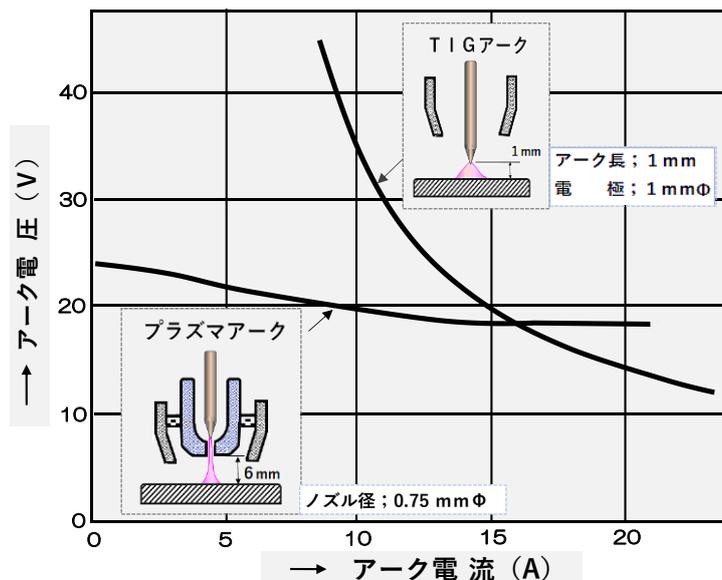


図216-02 TIGアークとプラズマアークとの低電流域における電流-電圧特性の比較*2)

プラズマアークの説明に移ります。

図 216-03 に示すようにメタルノズルの先端には小さな孔（オリフィス）があり、この壁面は水冷されているので、アークはオリフィス壁面とガス流で冷やされることで収縮します。いわゆる熱的ピンチ効果が作用します。

さらに、アーク電流自身が磁場を生じ、磁場と電流によるローレンツ力により電磁ピンチ効果が作用しアークが絞られます。

さらにシールドガスに Ar-H₂系などの熱伝導率の大きい混合ガスを用いれば、プラズマアークは熱伝導によるエネルギー損失を最小限にするようにプラズマの表面積が少なくなる緊縮した形状に変化しようとする。これら三つの要因による緊縮効果によりプラズマアークの直径を細くすることができる。

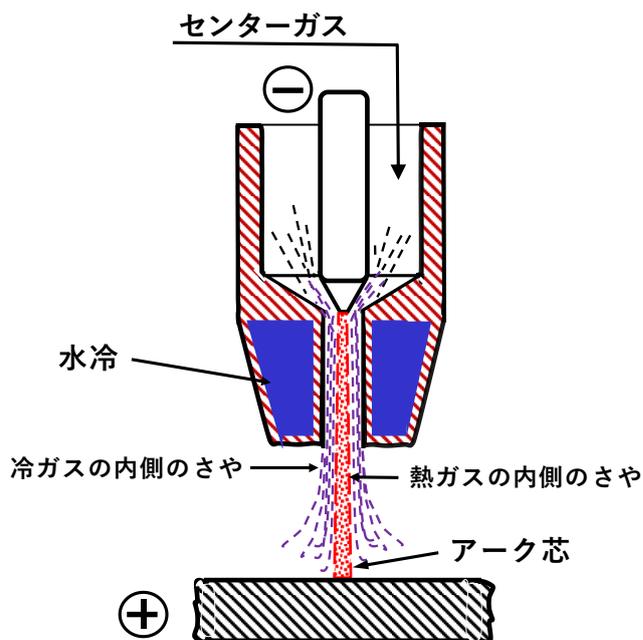


図216-03 プラズマアークの説明図*3)

図 216-04 はガス流量のアーク柱の直径および電流密度におよぼす影響を実験的に調べた一例です。センターガス流量の増加にともなって、アーク柱の直径が細くなり、同時に電流密度が増加している。

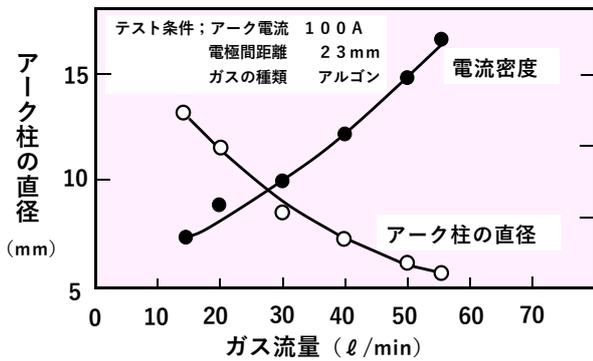


図216-04 プラズマの熱ピンチ効果テスト*4)

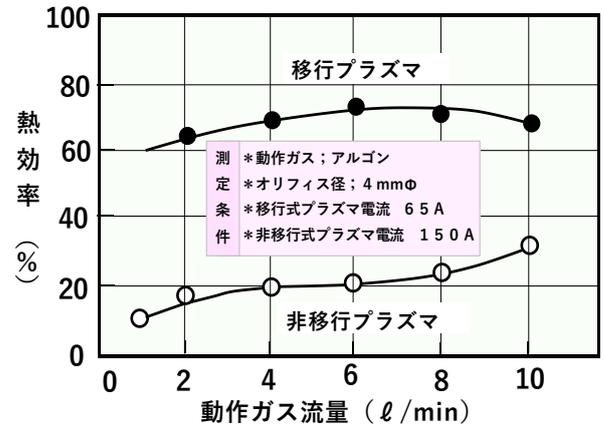


図216-06 移行プラズマと非移行プラズマの熱効率の比較*6)

1-3. プラズマアークの発生方式

プラズマの発生方式には図 216-05 に示すように2方式があり、(a)は移行式と呼ばれ、高周波発生により電極とノズル間にパイロットアークを起動させ、次にこのパイロットアークを介して電極・母材間に主プラズマアークを発生させる。通常、金属の溶接と切断には図 216-06 に示すように熱効率の点からも良く、この方式が用いられる。

(b)は非移行式と呼ばれ、電極・ノズル間に主プラズマアークを発生させる方式である。熱効率が悪く、ノズルの熱負担が大きいなどの理由で、溶接に使われることはなく、溶射や非導電材の切断に使用されている。なお、熱効率の調査にあたっては母板の代わりに水冷銅板を用いたものです。

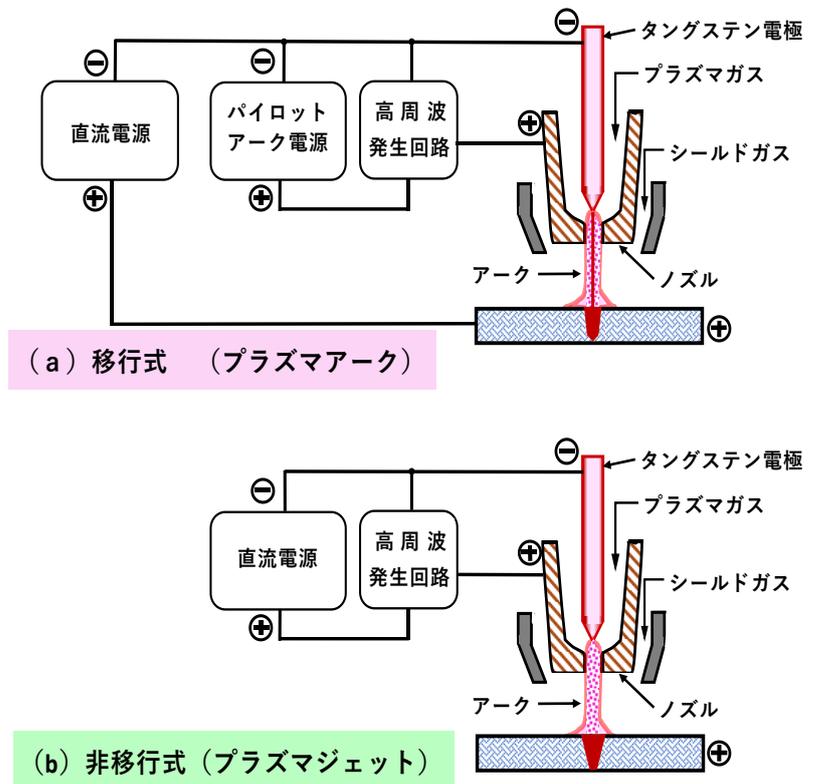


図216-05 プラズマ発生方式の種類*5)

次話では、小電流プラズマ（マイクロ・プラズマ）アークの基礎と考え方と題して説明を続けます。
以上。

*1) J.F.Lancaster 溶接アークの物理, 溶接学会, 溶接アーク物理研究委員会訳(1990) p338
*2) 溶接学会 溶接・接合便覧 p266
*3)-*6) ナストーア溶接ハンドブック (IV編 プラズマアーク溶接) より引用